

絹織物のFUKURAMIに及ぼす絹単繊維の形状と形態の影響

松 平 光 男

The Effect of Fiber Shape and Geometrical Configuration on FUKURAMI of Silk Weaves

Mitsuo MATSUDAIRA

Abstract

In order to investigate the effect of shape and geometrical configuration of silk single fiber on FUKURAMI (fullness and softness) of a silk weave, silk fibers were taken out of that weave and characterized precisely. The fiber assembly structure of these silk fibers was discussed in relation to the mechanical properties of the yarns and the fabrics. The following results were obtained. The crosssections of the silk fiber varied in shape and size. The longitudinal small crimps and distorted ridgelines were recognized and shown to be randomly distributed. All of these factors contributed to the high bulk of their fiber assemblies. The above variations and randomness of the silk fibers influenced the lateral compressional properties of the yarns and brought about the softness. The same above factors influenced fabric tensile and compressional properties and could explain their high FUKURAMI.

1 緒 言

絹織物は昔から人類にとって最も良い布として使用されてきた。その理由は外観や触感に優れ、軽くて暖かく、人の肌との適合性が良いからだと言われている。換言すれば、絹織物は風合いが優れているために長期間人から愛されてきたと言える。そして、現在実に多種多様な合成繊維が利用されているが、その研究開発は正に絹を目指して行われてきたと言っても、決して過言ではない¹⁻³⁾。

絹繊維を目指した開発には、古くはレーヨンがあるが、絹に似た光沢は得られたものの、強度やヤング率が絹に比べて小さすぎた。次に高分子的には最も絹に近いナイロンがあるが、ヤング率が低く、繊維の力学特性が柔らかすぎた。そこで現在では、全般的な力学特性が最も絹に近いポリエステル（ポリエチレンテレフタレー

ト）繊維がシルクライクな合成繊維としては最も大量に製造販売されている。

絹繊維は細くて三角形断面であることから、シルクライクポリエステル繊維の開発はまず異形断面化と細デニール化で始まった。次に絹織物における製織後のセリシン除去を模倣するため、ポリエステル織物の減量加工が行われるようになった。更に、ポリエステル繊維へのクリンプ付与や異収縮混織糸により、絹織物のもつふくらみを得るための努力があった。そして最近では単繊維1本1本の断面形状、太さ、クリンプ、等を不規則にして、より天然の絹繊維に近づける工夫が行われている⁴⁻⁶⁾。しかしながらいかにシルクによく似たシルクライクポリエステルといえども、風合いの点では依然として天然のシルクの方が勝っていると言われ、多くの消費者は本物のシルクを好んでいる。

現在のシルクライクポリエステルの開発の主

流は、いかに天然の不規則さを出すかに力点が置かれている。しかしながら、実際の絹単繊維の不規則性に関する詳しい情報は不足しており、繊維の不規則性がいかに布の風合いに影響を及ぼすかを詳しく解析した研究は少ない^{7,8)}。そこで本論文では、まず1本1本の絹単繊維を追跡することにより、絹繊維の形状を決定し、それが集合体を形成するときの構造を解析することにより、繊維の形状及び集合構造が布の風合い向上、特にFUKURAMI (Fullness and Softness) 向上にいかに関与しているかを検討した。

2 実験

絹織物としては、たてよこ共に無撚のフィラメント糸よりなる構造が最も単純な平羽二重を選び、比較のためそれに最もよく似ていると考えられる同一構造のシルクライクポリエステル織物を選んだ。試料の詳細をTable 1に示す。これらの布から糸を取り出し、0.005N / tex の一定張力下で30秒間水蒸気にさらすことにより、織りクリンプを除去してから使用した。

Table 1 Details of Fabric Samples

No. Fibre	Density (/m)		Counts (tex)		Thickness (mm)*	Weight (g/m ²)
	Warp	Weft	Warp	Weft		
1 Silk	5600	3200	6.2	9.8	0.215	81.7
2 polyester	3800	3900	4.7	5.7	0.137	62.6

*The thickness is measured under the pressure 49 Pa.

2-1 単繊維の断面形状追跡

布より取り出した絹及びポリエステル糸を不飽和ポリエステル樹脂(ポリライト; FG-208:8010=9:1)に埋め込み、繊維軸方向に垂直にミクロトームによって連続的に切断し、厚さ10 μ mの連続的な切片を作成した。絹繊維には波長にして0.5-3.0mm程度のクリンプがあり⁹⁾、また絹及びポリエステル共に波長にして

0.3-0.6mm程度の織りクリンプが残存している危険性があった。そこでこのクリンプ効果を除くため、繊維断面の重心を結ぶ繊維軸を直線とみなして、繊維形状を追跡した。重心は、断面を三角形と仮定し、最長辺の midpoint と向かい合う頂点とを結んだ直線の1:2の内分点より決定した。繊維断面の二次元的位置関係は、サンプル表面の刃傷の方向より判断して、統一した。光学顕微鏡によって写真撮影を行う際には、サンプルとカバーガラス間にミシンオイルを注入して刃傷による光の乱反射を防いだ。

2-2 糸の力学特性

布より取り出した絹糸及びシルクライクポリエステル糸について、布のFUKURAMIに最も関係が深いと考えられる¹⁰⁾引っ張り特性及び横圧縮特性を各々KES-G1引っ張り試験機及びKES簡易型圧縮試験機を用いて測定した。

2-3 布の力学特性及び風合い

絹織物及びシルクライクポリエステル織物についてKES-FBシステム¹¹⁾により引っ張り、曲げ、せん断、圧縮、表面の各種基本力学特性を高感度条件¹²⁾で計測した。次に川端による風合いの客観評価法^{13,14)}を用い、得られた基本力学量(Appendix参照)から基本風合い値を算出した。

3 結果

3-1 単繊維の断面形状追跡

まずシルク及びシルクライクポリエステル繊維の側面及び断面写真をFig. 1, 2に示す。シルク繊維の断面形状は三角形、四角形、楕円、等極めて不規則な形状をしており、その大きさ(断面積)も実に幅広く分布している。一方シルクライクポリエステル繊維は、断面の大きさ(断面積)については大きいものと小さなものがあるが、その形状はほぼ同様な三角形である。またシルクの方は尖ったエッジが随所に認めら

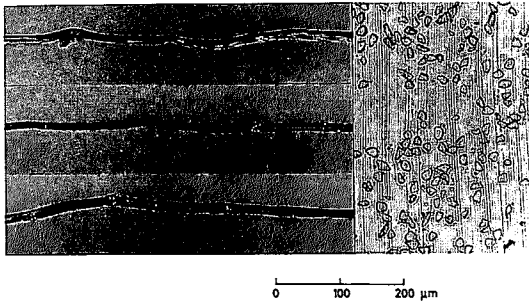


Fig. 1 Longitudinal (left) and cross - sectional (right) views of silk fibers.

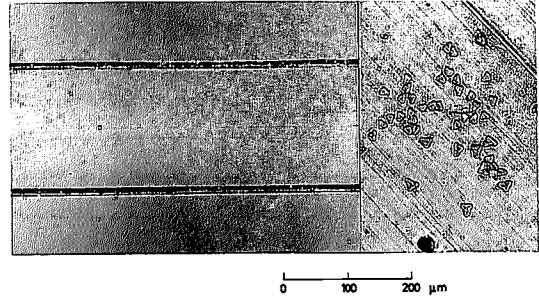


Fig. 2 Longitudinal (left) and cross - sectional (right) views of silk - like polyester fibers.

れ、側表面も決して滑らかには見えないが、ポリエステルの方は製織後に行なう減量加工のため繊維のエッジは皆丸くなっており、シルクよりも滑らかな表面状態をしている。繊維軸方向についてもポリエステル繊維は極めてスムーズな直線状をしているが、シルク繊維は不規則で所々に節やねじれ、あるいは波長が $50-200\mu\text{m}$ 程度の微小なクリンプが認められる。

シルク及びシルクライクポリエステル繊維の断面を繊維軸方向に追跡した結果を、シルク11点及びポリエステル2点について Fig. 3, 4 に示す。Fig. 3 は比較的粗い間隔で長距離にわたる追跡結果であり、Fig. 4 は細かい間隔の短距離の追跡結果である。シルクはすべての繊維において断面形状や断面積が変化しており、またねじれが認められた。例えば Fig. 3 で、C, I, J 及び K は断面形状の変化が著しく、H は断面積の変化が著しい。また B のように断面形状や断面積の変化は少ないが、ねじれが著しい繊維もある。更に変化の周期も決して一定ではなく、ランダムに変化している。I 及び K では隣接した2本の繊維を同時に示してあるが、繊維間の互いの位置も大きく変化している。

一方、シルクライクポリエステル繊維の方は断面形状や断面積の変化はほとんど認められず、ねじれもなかった。これ以外に4本追跡したが、同様な結果であった。

次に、Fig. 3, 4 の結果を基に、最も代表的な

シルク及びシルクライクポリエステル繊維の三次元的なモデル図を作成し、Fig.5に示す。シルクは不規則で微細なクリンプや稜線のねじれが明かであるが、ポリエステルはこれらの微細形状変化は認められず、繊維表面は平滑で稜線も直線状である。

ここで得られた最も代表的なシルク及びシルクライクポリエステル繊維について、それらの断面図形より実際の断面積や慣性モーメント (I) を算出し¹⁵⁾、繊維の曲げ剛性 ($B = EI$) を算出した。但し、繊維のヤング率 (E) は KES - G1 引っ張り試験機で測定した。繊維に関する結果を Table 2 に示す。今回使用したポリエステル繊維は断面積や慣性モーメントはシルクよりも若干大きいですが、ヤング率が小さいためにポリエステルの方がシルクよりも若干曲げ柔らかいという結果になっている。通常のポリエステル繊維は一般に太く断面積が大きいためシルクよりも曲げ硬いが、今回検討したシルクライクポリエステル繊維は細く、三角断面で、その上減量加工をしているため、曲げ柔らかくなっている。

それ故、単繊維で比較する限りにおいては、絹はポリエステルに比べ形状は不規則で表面も滑らかでも均一でもなく、これら繊維の集合体である糸や布はシルクライクポリエステルの方が柔らかくソフトであり、滑らかでふくらみに富んでいることが予想される。

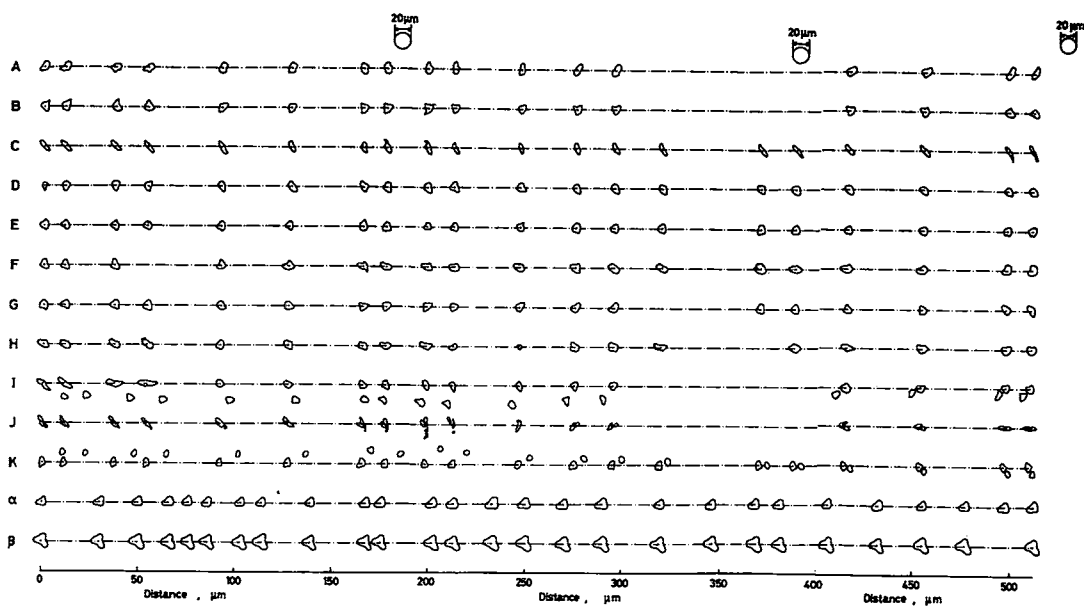


Fig. 3 Shapes of successive cross-sections of silk (A - K) and silk-like polyester (α, β) fibers in long range.

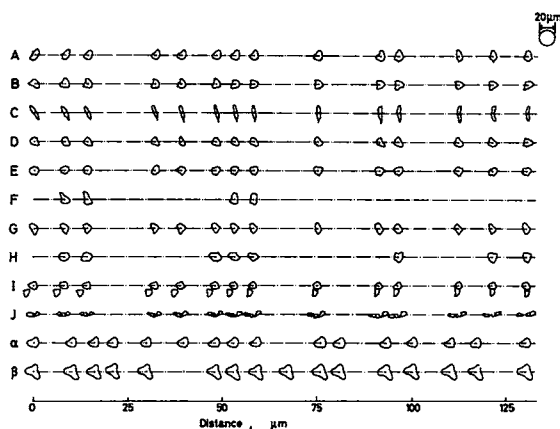


Fig. 4 Shapes and successive cross-sections of silk (A - J) and silk-like polyester (α, β) fibers in short range.

Table 2 Mean Bending Rigidity of a Fiber

Fibre	Silk	Silk-like Polyester
Cross sectional Area (μm^2)	100.8	106.4
Moment of Inertia (μm^4)	754	793
Young's Modulus (N/m ²)	16.5×10^9	14.2×10^9
Bending Rigidity (N·m ²)	1.24×10^{-11}	1.13×10^{-11}

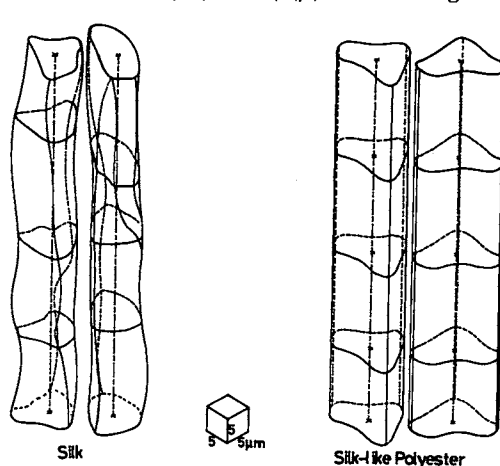


Fig. 5 Three dimensional model of two typical examples of silk (left) and silk-like polyester (right) fibers.

3-2 糸の力学特性

絹糸及びシルクライクポリエステル糸の引っ張り特性及び圧縮特性の結果を Fig. 6 に示す。

引っ張り特性については、ポリエステルの方が伸び柔軟な性質を示しているが、横圧縮特性についてはシルクの方がポリエステルよりも柔軟な性質を示している。この横圧縮特性の

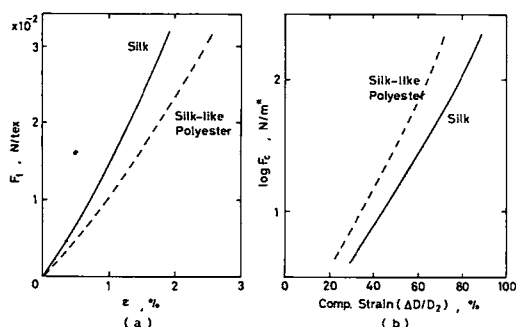


Fig. 6 Tensile (left) and lateral compressional (right) properties of silk and silk-like polyester yarns.*; force / yarn unit length, D_2 ; diameter at the force 2 N / m.

結果は、3-1の繊維の結果からの予想に反するものであり、糸の横圧縮特性には繊維の集合構造が大きく効いていることを意味している。

3-3 布の力学特性及び風合い

絹織物及びシルクライクポリエステル織物の各種基本力学特性値、及びそれより KN-202-LDY 式¹⁶⁾を用いて算出した基本風合いを Fig. 7に示す。この HESC (風合い計量と規格化研究委員会) チャートは婦人用薄手布の平均的な力学量を基に作成されている。シルクとポリエステルで比較すると、シルクは特に引っ張り及び圧縮特性に特徴が現れている。シルクの方が共に直線性 (LT, LC) が小さく、仕事量 (WT, WC) が大きくなっており、引っ張り及び圧縮において柔らかいことを示している。このことは布の引っ張り特性や圧縮特性には繊維の集合構造が大きく効いていることを意味している。曲げ特性については、曲げ剛性 (B) もヒステシス (2HB) もポリエステルのの方が小さくなっている。これは使われているポリエステル繊維が細くて曲げ柔らかいことに対応している。せん断角の小さい領域におけるせん断力のヒステシスはシルクの方が小さいが、両者共せん断柔らかいと言える。表面特性については両者共ほぼ同様な値を示している。厚みや重みはシルクの方が若干大きな値を示している。

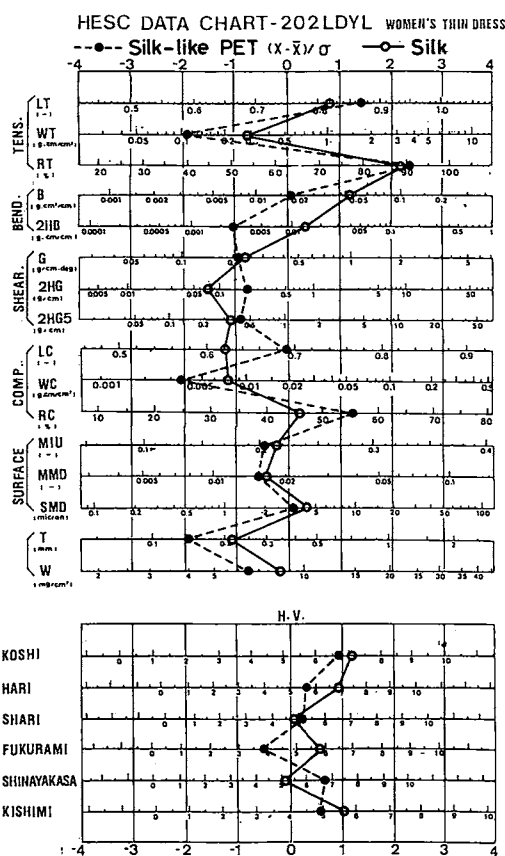


Fig. 7 Mechanical parameters and primary hand values of the silk and the silk-like polyester weaves.

基本風合いについて考えると、シルクはポリエステルに比べると KOSHI (Stiffness), HARI (Anti-drape stiffness), FUKURAMI (Fullness and softness), KISHIMI (Scrooping feeling) が高く、SHINAYAKASA (Flexibility with soft feeling) が低い。ポリエステルの SHINAYAKASA が高いのは、布が曲げ柔らかいためである。ここで基準となる婦人用薄手布の中には紡績糸織物も含まれているため、フィラメント糸からなる羽二重構造の布は元来 FUKURAMI は低くなることが予想されるが、シルクの風合いは高い値を示している。それに比べ、シルクライクポリエステルの FUKURAMI はシルクに比べると低い値しか示していない。これには上記の引っ張り及び圧縮特性

における柔らかさがシルクに比べて劣っていることが主な原因となっている。

それ故、3-1の予想に反し、形状が不規則で不均一な絹繊維からなる布は、形状が均一で滑らかなポリエステル繊維からなる布に比べ、特に FUKURAMI が高いことが示された。

4 考 察

断面及び軸方向の形状が不規則で、ねじれた微細なクリンプをもつシルク繊維からなる絹織物は、形状が規則的でまっすぐなポリエステル繊維からなる布に比べ、特に FUKURAMI が高いことが示された。この点について更に検討するため、繊維の集合構造を考えた。

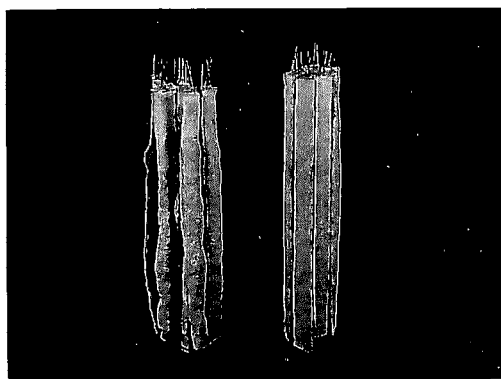


Fig. 8 Appearance of fiber assembly model of silk (left) and silk-like polyester (right) fibers; x2000.

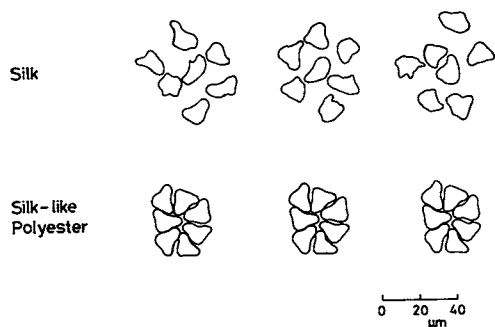


Fig. 10 Mutual disposition of fibers in a fiber assembly model of silk (above) and silk-like polyester (below) fibers.

3-1で明らかになったシルク及びポリエステル繊維の2,000倍の立体モデルを作成し、これら繊維の実際の集合状態を調べた。Fig. 8に繊維が円形の場合最密充填構造を取る7本の繊維からなる集合体の立体モデルを示す。これは針金を繊維軸とし紙粘土で肉付けして作成したものである。ポリエステルの方は繊維が均一であるため繊維間に空隙を生じることなく密に集合しているが、シルクの方は不規則な形状のため、

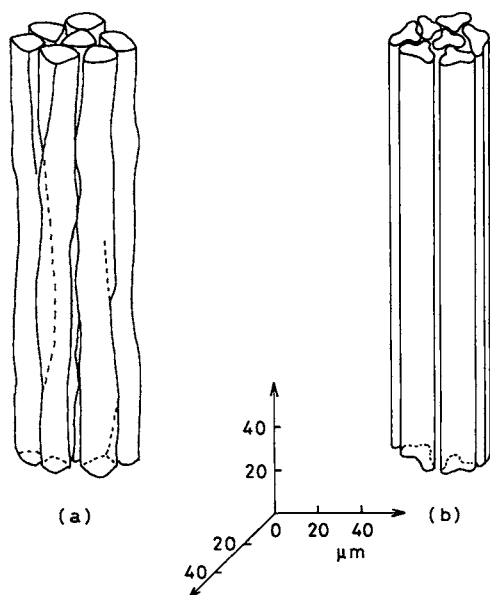


Fig. 9 Illustration of fiber assembly model of silk (left) and silk-like polyester (right) fibers.

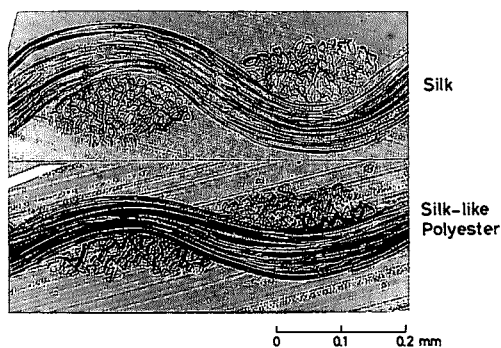


Fig. 11 Cross-sectional photographs at the cross-over point of warp and weft yarns for the silk and the silk-like polyester weave.

繊維同志が近づくことが出来ず、極めてバルキーな集合体となっている。このモデルを図示したのが Fig. 9 である。次に繊維集合体のバルキー性の程度を定量化するため、繊維集合体モデルを水平に切断した時の繊維間の配置図を、代表的な 3 点について Fig. 10 示すが、シルクとシルクライクポリエステルは予想以上に大きい。空隙率の結果を Table 3 に示すが、シルクはポリエステルの 4 倍近い値となっている。実際の布の中における空隙率を求めるため、布を樹脂で固め、たて糸一よこ糸交差点における断面形状を Fig. 11 に示す。実際の布においてもシルクの方がポリエステルに比べバルキーでふっくらとしている。糸内の空隙率の結果を Table 3 に示すが、シルクの方が 2 倍近い空隙率を有している。繊維モデルの空隙率は実際の糸内の空隙率とは一致していないが、シルクが不規則な形状、微細なクリンプのために繊維同志お互いに近づくことが出来ず、バルキーになっていることは明らかである。

Table 3 Space Between Fibers in Fibers - bundle Model and Actual Yarn in Woven State

	Silk	Silk - like Polyester
Fibers - bundle Model	42%	11%
Yarn in Weave	27%	16%

繊維間に空隙が多ければ、布を変形したときには繊維が自由に曲がりやすくなり、特に引っ張り特性や圧縮特性にその影響が大きく発現されると考えられる。絹織物が同一構造のシルクライクポリエステル織物に比べ、特に低荷重領域において柔らかくなるのは¹²⁾、この繊維間に存在する空隙によるものと考えられる。

次にシルク単繊維が有している微細なクリンプの規則性を調べるため、繊維 1 本の自己相関係数¹⁷⁾及び 2 本の繊維間の相互相関係数¹⁷⁾を求め、各々 Fig. 12 及び Fig. 13 に示す。シルク繊維 1 本の微細クリンプは振幅も波長も規則性は

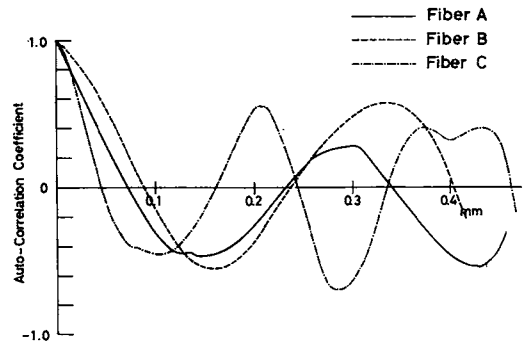


Fig. 12 Auto - correlation coefficient of the crimp wave of a silk fiber for three samples.

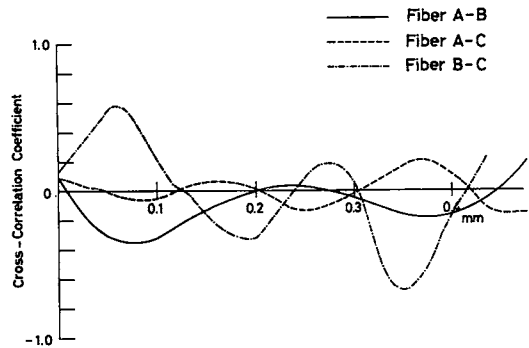


Fig. 13 Cross - correlation coefficient of the crimp wave of adjacent two silk fibers for three pairs.

少なく、繊維によっても異なっている。また 2 本間の規則性は全くと言えるほどなく、微細クリンプは互いにランダムであることがわかる。仮に微細クリンプの周期が同程度であったとしても、互いの位相差がランダムであることは明かであり、この時繊維集合体は最もバルキーになると考えられる¹⁸⁾。即ち、シルク繊維の集合体においては、形状や微細クリンプが不規則で互いに異なった繊維が多数集まっているために、繊維間に空隙を含みバルキーとなり、FUKURAMI が高くなっていると言える。

更にクリンプのバルキー性への効果を調べるため、絶縁導線（直径 1 mm）を用いて、クリンプの振幅及び波長を変化させた繊維のモデルを作成し、その集合構造を検討した。Table 4 に振幅及び波長の条件を示し、Fig. 14 に 7 本の織

Table 4 Crimp Wave Model of Fibers by Flexible Wires

Model	Amplitude (mm)		Pitch (mm)		Porosity
	Max.	Mini.	Max.	Mini.	
a	0.0	0.0	0.0	0.0	0.21
b	1.0	1.0	21.0	3.5	0.88
c	1.0	1.0	35.0	20.0	0.82
d	5.0	1.0	10.0	10.0	0.93
e	2.5	0.1	10.0	10.0	0.85
f	1.5	1.5	20.0	20.0	0.77

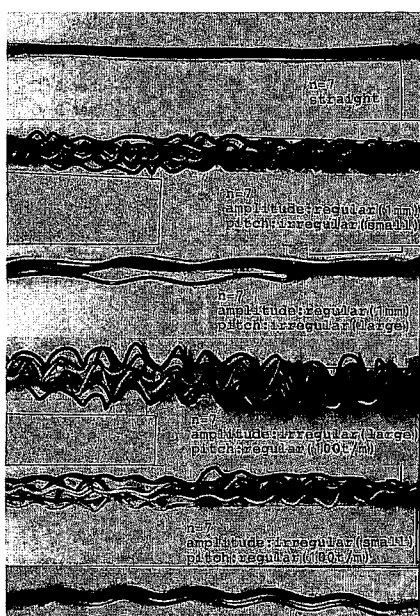


Fig. 14 Appearance of crimp wave model of fibers by flexible wires.

維の集合構造モデルを示す。振幅や波長が不規則なときに集合体はよりバルキーになることが明らかに示されている。特に振幅は大きくてランダムである時、波長は短くてランダムである時に集合体は最もバルキーになった。ランダムな振幅や波長のクリンプを持つシルク繊維の集合体はバルキーになり、布に高い FUKURAMI を与えていることになる。

5 結 論

絹単繊維の微細な形状が布のふくらみに及ぼす効果を明らかにするため、絹織物及びシルクライクポリエステル織物より取り出した繊維の形状を追跡し、それらが集合して糸や布になるときの構造を考察することにより、以下の結論を得た。

(1)絹単繊維は不規則な断面形状や断面積を有し、また振幅や波長のランダムなねじれた微細クリンプを有しているため、その集合体はバルキーになる。

(2)上記の効果は糸においては主に横圧縮特性に現れ、絹糸を柔らかくする。

(3)布においては主に引っ張り特性や圧縮特性に現れ、絹織物は伸び柔らかく圧縮柔らかくなる。そのため布の FUKURAMI は向上する。

文 献

- 1) 桜田一郎：化学，24 (5)，406 (1969)。
- 2) 奈良寛久：染色工業，32 (1)，15 (1984)。
- 3) 平林潔，荒井三郎，松村正明：繊維機械学会誌 (繊維工学)，38 (1)，p40 (1985)。
- 4) 山口新司，横田宣彦：繊維製品消費科学会誌，30 (2)，55 (1989)。
- 5) 西田武司：繊維製品消費科学会誌，30 (3)，106 (1989)。
- 6) 廣田雅司：繊維製品消費科学会誌，30 (3)，110 (1989)。
- 7) Mitsuo Matsudaira：京都大学工学博士学位論文 (1988)。
- 8) Mitsuo Matsudaira：J. Text. Inst., in press (1992)。
- 9) Mitsuo Matsudaira and Suelo Kawabata：J. Text. Inst., 79, 490 (1988)。
- 10) Mitsuo Matsudaira and Suelo Kawabata：J. Text. Inst., 79, 458 (1988)。
- 11) 川端季雄：繊維機械学会誌 (繊維工学)，26 (10)，P721 (1973)。
- 12) 松平光男，川端季雄，丹羽雅子：繊維機械学会誌 (論文集)，37 (4)，T49 (1984)。
- 13) 川端季雄：“風合い評価の標準化と解析” 第2版，日本繊維機学会，(1980)。
- 14) Suelo Kawabata and Masako Niwa：J. Text. Inst.,

- 80, 19 (1989).
 15) 渥美光, 鈴木幸三, 三ヶ田賢次: 材料力学, p.40, 森北出版, (1986).
 16) 川端季雄, 丹羽雅子: 繊維機械学会誌 (論文集), 37 (7), T113 (1984).
 17) 日野幹雄: "スペクトル解析", p. 25, 朝倉書店, (1983).
 18) 山口新司, 川端季雄: 繊維機械学会誌 (論文集), 25 (5), T83 (1972).

Appendix Descriptions of Mechanical Characteristic Values

Property	Parameter	Description	Unit	Apparatus
Tensile	LT	Linearity of load/extension curve	None	KES-FB1
	WT	Tensile energy	nm/m ²	
	RT	Tensile Resilience	None	
Bending	B	Bending rigidity	Nm ² /m	KES-FB2
	2HB	Hysteresis of bending moment	Nm/m	
Shearing	G	Shear Stiffness	N/mrad	KES-FB1
	2HG	Hysteresis of shear force at shear angle of 0.0087 rad	N/m	
	2HG5	Hysteresis of shear force at shear angle of 0.0872 rad	N/m	
Compression	LC	Linearity of compression/ thickness curve	None	KES-FB3
	WC	Comperssional energy	Nm/m ²	
	RC	Compressional ressional resilience	None	
Surface	MIU	Coefficient of friction	None	KES-FB4
	MMD	Mean deviation of MIU	None	
	SMD	Geometrical roughness	μm	
Thickness	T	Fabric thickness	mm	KES-FB3
Mass	W	Fabric mass per unit area	g/m ²	Balance